

NASKAH PUBLIKASI
TUGAS AKHIR

**ANALISA PENGARUH VARIASI SUHU
SINTERING PADA PENCETAKAN BOLA
PLASTIK BERONGGA PROSES *ROTATION*
*MOLDING***



Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi Syarat-syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun Oleh:

ARIES SUPRIYANTO

D.200.08.0071

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
JANUARI 2015**

HALAMAN PENGESAHAN
NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Naskah publikasi berjudul **"Analisa Pengaruh Variasi Suhu Sintering Pada Pencetakan Bola Plastik Berongga Proses *Rotation Molding*"**, telah disetujui dan disahkan pembimbing Tugas Akhir sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh:

Nama : **ARIES SUPRIYANTO**

NIM : **D.200.08.0071**

Disetujui pada

Hari : Selasa

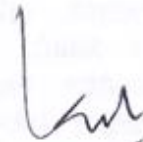
Tanggal : 20-01-2015

Pembimbing Utama



Bambang Waluyo F, S.T., M.T.

Pembimbing Pendamping



Tri Widodo B.R, S.T., M.Sc., Ph. D.

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Tri Widodo B.R, S.T., M.Sc., Ph. D.

ANALISA PENGARUH VARIASI SUHU SINTERING PADA PENCETAKAN BOLA PLASTIK BERONGGA PROSES ROTATION MOLDING

Aries Supriyanto, Bambang Waluyo F, Tri Widodo Besar R

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura

email: mendring91@gmail.com

ABSTRAKSI

Proses rotation molding adalah proses pembentukan plastik bersuhu tinggi dan bertekanan rendah yang menggunakan panas dan biaxial rotation (rotasi pada dua sumbu). Bahan-bahan yang digunakan dalam proses pencetakan rotation molding adalah plastik, hal ini dikarenakan kelebihan-kelebihan polimer plastik yang dimiliki seperti mudah dibentuk, dapat dibuat beraneka ragan warna, ringan, kuat, tidak mudah pecah, anti karat dan lain sebagainya.

Proses pembuatan diawali dengan persiapan bahan yaitu biji plastik LDPE (Low Density Polyethylene dan dicetak menggunakan mesin rotation molding dengan variasi suhu sintering 90°C, 100°C, 110°C. Analisa spesimen bola plastik berongga yang dilakukan adalah analisa penyusutan dengan setandar ASTM D 6289, dan analisa pengujian ketebalan dan mengetahui foto makro.

Dari hasil pengujian pengukuran penyusutan spesimen bola plastik berongga didapat nilai penyusutan. Suhu sintering 90°C tidak dapat dilakukan pengambilan data, pada suhu sintering 100°C mengalami rata-rata penyusutan sebesar 2,28%. Untuk variasi suhu sintering 110°C mengalami rata-rata penyusutan sebesar 1,97%. Pengujian ketebalan pada suhu sintering 90°C tidak dapat dilakukan pengambilan data, pada suhu sintering 100°C mengalami rata-rata ketebalan 5,17mm. Untuk variasi suhu sintering 110°C mengalami rata-rata ketebalan 4,92mm. Untuk pengujian foto makro dapat ditarik kesimpulan pada suhu sintering 90°C terjadi tahapan initial point contact, pada suhu sintering 100°C terjadi tahapan Intermediad Stage (tahap peralihan) atau pertumbuhan leher tahap awal, pada suhu sintering 110°C terjadi tahapan final stage (tahap akhir) tahapan ini porus akan terisolasi dan grain boundary (batas butir) menyatu.

Kata kunci: rotation molding, sintering, LDPE (Low Density Polyethylene), cetakan (mold)

A. PENDAHULUAN

Plastik sangat penting dalam kehidupan sehari-hari, alasannya begitu luasnya penggunaan plastik secara industri karena sifat-sifatnya yang unggul dan mudah diolah. Plastik merupakan bahan polimer alternatif yang lebih banyak digunakan untuk perlengkapan bahan sandang, papan bagi kehidupan manusia, karena tersedianya dalam jumlah besar dan lebih murah harganya lebih aman digunakan.

Dalam masa era globalisasi, persaingan dalam industri semakin ketat. Persaingan ini menyangkut perkembangan bidang teknologi, dimana dengan adanya perkembangan teknologi dapat menekan biaya produksi suatu produk. Oleh karena itu, untuk menghasilkan suatu produk yang efisien dan dapat bersaing perlu pertimbangan dalam pembuatan produk tersebut, mulai dari pemilihan bahan baku, proses pengerjaan, sampai produk yang dihasilkan.

Bola plastik merupakan bola yang bisa didapat dengan harga yang murah, cukup hanya dengan membeli bola plastik dengan ukuran kecil dengan jumlah yang banyak, anak-anak kecil sudah dapat bermain pada permainan mandi bola. Masyarakat banyak menggemari bola plastik bukan hanya karena harganya yang murah tapi juga sesuai untuk anak-anak kecil karena bola plastik ringan untuk di tendang maupun dipakai untuk permainan anak-anak, sehingga tidak membahayakan untuk anak-anak dan lingkungan sekitar.

Bola plastik digunakan nelayan untuk pelampung sebagai acuan posisi jarring penangkap ikan di laut dan penanda arah arus

aliran arus air. Sebagian besar produsen bola plastik di Indonesia berada di pulau jawa sehingga untuk memenuhi kebutuhan di luar pulau jawa mereka harus mengirim bola plastik yang sudah berisi udara, hal tersebut dinilai kurang efisien dan efektif, tapi untuk saat ini pengiriman bola plastic bisa dikirim dengan tanpa diisi udara kemudian sesampainya di tempat tujuan bola plastik tersebut di pompa. Maka dari permasalahan diatas penulis ingin membuat bola plastik berongga untuk diaplikasikan pada permainan anak-anak. Salah satu proses yang digunakan untuk membuat produk dari bahan baku plastik adalah proses *rotation molding*.

Proses *molding* merupakan proses utama dalam pembuatan produk plastik disbanding dengan proses lainnya. Plastik dikenal sebagai suatu bahan serbaguna dan ekonomis yang banyak digunakan untuk berbagai macam produk. Hal ini dikarenakan kelebihan-kelebihan yang dimiliki seperti mudah dibentuk, ringan, tidak mudah pecah dan lain sebagainya. Namun kelebihan ini, sering tidak didukung oleh biaya pembuatan cetakan (*mold*) yang mahal, apalagi jika produk yang dibuat dalam jumlah sedikit Mujiarto Imam, (2005).

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menyelidiki distribusi ketebalan produk plastik berongga pengaruh variasi suhu *sintering* 90°C, 100°C, dan 110°C bahan plastik LDPE (*low density polyethylene*).
2. Mengetahui pengaruh cacat penyusutan produk bola plastik berongga variasi suhu *sintering* 90°C, 100°C, dan 110°C. Bahan

plastik LDPE (*low density polyethylene*).

C. Tinjauan Pustaka

Ardianto Tomi, (2011) dalam penelitiannya mengatakan nilai ketebalan produk dipengaruhi dari proses lamanya waktu pemanasan pada pembentukan bahan plastik proses *rotational moulding*, semakin lama plastik dipanaskan ketebalan semakin baik dikarenakan material plastik dapat merata pada dinding *mould*, tetapi tingkat pemanasan material plastik juga harus disesuaikan agar tidak menimbulkan kerusakan pada material plastik ataupun berkurangnya sifat mekanik dari produk tersebut. Dalam penelitian mengatakan nilai penyusutan (*shrinkage*) yang tidak merata dikarenakan *disain* cetakan *mould* yang tidak sesuai dengan sistem pendinginan sehingga dalam susunan plastik molekul-molekul akan tersusun lebih rapat dan terjadi perubahan densitas sehingga terjadi penyusutan. Pada dinding yang tebal memerlukan pendinginan yang lebih lama dan ketika mengalami pendinginan terjadi penyusutan (*shrinkage*).

Carwford. R. J. Dkk (2003) Dalam proses *rotation moulding*, kecepatan *rotasi* yang lambat cairan plastik secara efektif berada didasar cetakan sampai membentuk lapisan pada bagian dalam permukaan cetakan karena ketebalan lapisan plastik pada dinding cetakan tergantung pada kecepatan putaran. Kecepatan putar sekitar dua sumbu memiliki pengaruh besar pada distribusi ketebalan plastik pada cetakan, untuk membentuk beberapa bagian diperlukan membalikkan putaran dengan dua sumbu atau lengan yang arah putaranya berlawanan sehingga

dapat memiliki kerataan cetakan yang sama.

Oktaviandi. S. D, (2012) dalam penelitiannya mengatakan bahwa pada proses *injection moulding* menggunakan variasi penekanan dan waktu penekanan berpengaruh terhadap cacat penyusutan jenis *post shrinkage* hal ini terjadi setelah plastik disimpan dan mengalami *physical aging* dan *rekristalisasi*. (Carwford. R. J. dkk) Pengaturan temperature pada cetakan berperan penting dalam proses *moulding*. Misalnya, apabila temperature cetakan terlalu rendah, sehingga biji plastik tidak dapat menempel dan menempati ruangan kesudut-sudut cetakan. Apabila temperaturnya ditinggikan, proses bahan plastik mencair dan menempati ruang rongga cetakan, siklus mesin secara keseluruhan akan menjadi lama dan menjadi tidak ekonomis.

Febriantoko. W. B, (2008) Prediksi penyusutan yang tepat akan menghasilkan komponen dengan kualitas dan kepresisian tinggi. Penyusutan dipengaruhi oleh penyusutan volume, aliran dari tegangan sisa beserta orientasinya, aliran dari kristalisasi dan perpindahan panas. Sistem pendinginan yang optimal akan menghasilkan *gradient* perpindahan panas yang merata dan akan berpengaruh pada produk hasil.

German, M. J. (1994) *Sintering* dapat terjadi pada suhu dibawah titik leleh bahan dengan perpindahan atom (*difusi*) dalam kondisi *solid-state* atau melibatkan pembentukan fase cair. Ikatan antar partikel terjadi karena pertumbuhan *kohesif neck* pada titik kontak. Pada tahap awal *sintering* terjadi pertumbuhan *butir* dan isolasi pori. Tahap kedua ditandai dengan pertumbuhan butir dan penyusutan

pori pada sudut (pojok) butir. Selama proses *sintering* memungkinkan terjadinya mekanisme pergerakan atom dalam kondisi *solid-state*.

D. Landasan Teori

1. Mesin *Rotation Molding*

Crawford. R. J. Dkk (2003) *Rotation molding* juga dikenal sebagai *molding rotasi* adalah suatu proses yang bisa digunakan untuk memproduksi produk plastik berongga. *Rotational moulding* merupakan alternatif yang sangat kompetitif untuk *blow moulding* dan *injection moulding* untuk pembuatan produk plastik berongga. Hal ini karena proses *rotation moulding* ini menawarkan disain cetakan menciptakan produk yang bebas stress, dengan ketebalan dinding seragam dan bentuk yang cukup rumit dan ukuran produk yang besar misalnya tangki tampungan air, kontainer. Prinsip dasar dari *moulding rotasi* dengan melibatkan pemanasan didalam rongga yang diputar sehingga plastik meleleh membentuk lapisan pada permukaan dalam cetakan. Selanjutnya cetakan didinginkan menggunakan air secara tiba-tiba.

1.1 Proses *rotation molding* secara umum terdiri dari 4 langkah dasar Crawford. R. J. Dkk (2003):

- a. *Loding* kualitas bahan yang ditimbang biji atau cair ditempatkan dalam satu setengah dari cetakan logam berongga tipis yang dipasang dilengan mesin *moulding*. Cetakan kemudian ditutup dengan menggunakan klem atau baut di garis perpisahan antara bagian cetakan.
- b. Pemanasan Cetakan pada suhu tertentu sementara *mould* berputar sampai biji plastik menempel pada dinding *mould* (cetakan). Bagian berongga harus

diputar melalui dua atau lebih sumbu, berputar dengan kecepatan berbeda untuk menghindari penumpukan plastik.

- c. Pendinginan Ketika material telah berreaksi dan telah membentuk untuk menghasilkan sifat material yang benar, cetakan dilakukan pendinginan dimana udara paksa, air, atau kombinasi keduanya digunakan untuk membawa suhu turun ke bagian bawah titik kristalisasi atau pemadatan titik material.
- d. Cetakan dibuka dan akan menghasilkan produk yang diinginkan sesuai dengan bentuk rongga cetakan (*mould*).

2. Teori Dasar Plastik

Mujiarto Imam, (2005) *Polimer* adalah suatu bahan yang terdiri dari unit molekul yang disebut *monometer*. Jika monomernya sejenis disebut *homopolimer*, dan jika monomernya berbeda akan menghasilkan *polimer*. *Polimer* alam yang telah kita kenal antara lain: solus, protein, karet alam dan sejenisnya. Pada mulanya manusia menggunakan *polimer* alam hanya untuk membuat perkakas dan senjata, tetapi keadaan ini hanya bertahan hingga akhir abad 19 dan selanjutnya manusia mulai memodifikasi *polimer* menjadi plastik. Plastik yang disebut secara komersial adalah *nitroselulosa*. Material plastik telah berkembang pesat dan sekarang mempunyai peranan penting dibanding elektronik, pertanian, tekstil, kemasan kosmetik, furniture, konstruksi kemasan kosmetik, mainan anak-anak dan produk-produk industri lainnya.

Schey. J, (2009) Plastik/*polimer sintetis*: yang bentuk siap yang disebut *resin*, *resin* jarang dipakai dalam bentuk sesungguhnya, namun

dalam bentuk yang disenyawakan dengan berbagai bahan aditif melalui proses sintesis dari berbagai bahan mentah yaitu: minyak bumi, gas bumi dan batu bara. Plastik yang diperbaiki sifatnya dapat menggantikan bahan-bahan lain. Pada awalnya, plastik digunakan untuk aplikasi-aplikasi berdensitas rendah, ketahanan terhadap korosi tinggi, keras, sebagai *isolator* listrik yang baik, dan bentuk-bentuk yang kompleks sehingga memberikan keuntungan-keuntungan.

2.1 Macam-macam plastik

Pada dasarnya plastik merupakan bahan *polimer* dan dapat digolongkan menjadi 3 yaitu: *thermoplastik*, *thermosetting*, *elastomer*

a. Bahan *Thermoplastik*

Polimer *thermoplastik* adalah *polimer* yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika *polimer* jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan jika didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk. Jenis-jenis bahan *thermoplastik*: *Polyethylene (PE)*, *Polysterene (PS)*, *Polypropylene (PP)*, *ABS*, *PVC*, *Polistiren*, *Polycarbonat*, *Polimida*.

b. Bahan *thermosetting*

Bahan *thermoset* pada umumnya menawarkan stabilitas ukuran yang lebih baik dibanding *thermoplastik*, tetapi memiliki kegetasan yang lebih besar. Akan tetapi sifat-sifat ini dapat dimodifikasi dan dalam banyak aplikasi *thermosetting* dan *thermoplastik* bersaing secara berimbang. *thermosetting* disebut plastik teknik, memiliki memiliki sifat mekanik yang lebih unggul dan daya tahan yang lebih baik, mempunyai reaksi pengerasan cepat dan dapat dipanaskan

dalam bentuk cairan. Jenis-jenis bahan *thermosetting*: *Fenol formal dehid*, *Urea formal dehid*, *Melamin formal dehid*, *formal dehid*, *Poliuretan*, *Poliester*, *Epoxy*, *Polimetilmetakrilat*.

c. Bahan *Elastomer*

Elastomer (karet alam) zat yang lengket karena molekul-molekulnya. *Polimer* yang memperlihatkan *resilinsesi* (daya pegas) atau kemampuan meregang dan kembali keadaan semula dengan cepat. Misalnya *elastomer* yaitu: karet sintetis John A. Schy, (2009).

2.2 Dasar pemilihan plastik *LDPE* (*Low Density Polyethylene*)

Schey. J, (2009) Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis plastik *LDPE* (*Low Density Polyethylene*). Plastik jenis *thermoplastik* dibuat dari minyak bumi pertama kali diproduksi oleh *Imperial Chemical Industres (ICI)* menggunakan tekanan tinggi dan polimerisasi radikal. Pemilihan bahan ini didasari sebagai berikut:

a. Sifat mekanis *LDPE* (*Low Density Polyethylene*) Setioko, Wahyu, (2010)

- Ringan, Kuat dan tembus terhadap cahaya.
- Fleksibel dan permukaan agak berlemak.
- Dapat dipakai sebagai tempat makanan, Plastik kemasan dan botol plastik.
- Daya proteksi terhadap uap air tergolong baik.
- Pada suhu 60°C sangat resisten terhadap senyawa kimia.
- Kurang baik terhadap gas seperti oksigen.
- Katahanan terhadap uap air sangat baik.
- Memiliki *fleksibilitas* tinggi namun juga kuat.

- *LDPE* mempunyai *densitas* = 0,92-0,94 g/cm³.
- Bahan *LDPE* sulit dihancurkan tetapi tetap baik untuk tempat bahan makanan karena sulit bereaksi secara kimiawi.

3. Pemanasan

Cramford. R. J, (2003) Tujuan dari langkah pertama dalam cetakan rotasi adalah untuk meningkatkan suhu *polymer*, dimana partikel-partikel bedak menempel, menyatu atau *sinter*, kemudian *densitas* menjadi lapisan cairan *monolitik* menempel pada dinding cetakan. Didasari dengan perpindahan panas adalah aliran energi melintasi batas-batas sebuah sistem dengan sebuah perbedaan temperature. Ada tiga teori perpindahan panas yaitu *Konveksi, Konduksi, Radiasi*.

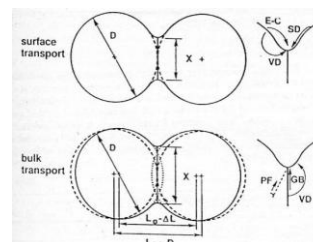
4. Pendinginan

Cramford. R. J, (2003) Setelah plastik telah dicairkan terhadap permukaan cetakan bagian dalam, plastik, cetakan, dan struktur pendukung tambahan harus didinginkan. Media pendingin yang populer adalah air dan udara, dimana perakitan terbenam di cetakan. Pendinginan paling komersial dalam cetakan *rotation moulding* adalah semprotan air, kabut air dll. Seperti dibahas di tempat lain, semprotan air adalah cara yang efektif untuk mengurangi temperature cetakan, tetapi pendinginan tidak selalu menjadi pilihan. Pendinginan biasanya terjadi dari luar saja, pendinginan cepat menghasilkan pembentukan kristal simetris dibagian dinding, yang mengarah ke *melenting*. Pada mesin *carausel*, biasanya dengan udara paksa, kabut air, atau kabut yang digunakan untuk meringankan masalah *melenting*. Jika pendinginan tidak mengontrol siklus *moulding* rotasi, pendinginan dapat dilakukan

dengan lembut hanya menggunakan udara suhu kamar *convected*.

5. Sintering

Sintering adalah suatu metode pembuatan objek dari serbuk dengan pemanasan sehingga terbentuk ikatan antar partikel. Istilah *sintering* berasal dari bahasa Jerman, "*sinter*" dalam bahasa Inggris dengan kata "*cinder*" yang berarti bara (*Wikipedia, free ensyclopedi*). *Sintering* adalah pengikatan bersama antar partikel pada suhu tinggi. *Sintering* dapat terjadi di bawah suhu leleh (*melting point*) dengan melibatkan transfer atomik pada kondisi padat, meskipun bisa terjadi pada fase cair. *Sintering* pada umumnya digunakan untuk membuat objek yang tidak memungkinkan dibuat dengan teknik manufaktur yang ada (German, 1994). Pada skala mikrostruktural mekanisme *sintering* adalah berupa pengikatan yang terjadi sebagai pertumbuhan butir pada daerah kontak antar partikel. Pertumbuhan butir terjadi karena adanya perpindahan massa serbuk berupa *bulk transport* dan *surface transport*. Mekanisme *surface* dan *bulk transport* terskema pada gambar



Gambar Mekanisme perpindahan massa serbuk (German, 1994).

Sintering dapat diklasifikasikan dalam dua bagian besar yaitu *sintering* dalam keadaan padat (*solid state sintering*) adalah *sintering* yang terjadi pada suatu temperature yang telah ditentukan, dimana dalam bahan semuanya

tetap dalam fase padat. Dan *sintering* fase cair (*liquid phase sintering*) *Sintering* pada fasa cair adalah *sintering* untuk serbuk yang disertai terbentuknya fase cair selama proses *sintering* berlangsung.

Mekanisme *sintering* terbagi menjadi 3 tahapan:

a. *Initial Stage*

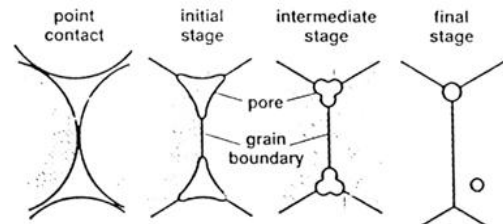
Pada tahap ini di mana akan terjadi peningkatan area kontak antar partikel dan berkurangnya rongga. Mekanisme aliran masa yang terjadi berupa *surface transport* dan tidak berperan terjadinya penyusutan. Tahapan awal ini ditandai dengan terjadinya pertumbuhan *neck* yang besar kemudian dilanjutkan dengan pertumbuhan batas butir.

b. *Intermediate Stage*

Pada tahap ini terjadi mekanisme aliran massa berupa *bulk transport* yang berperan terhadap terjadinya *shrinkage*, selain itu *surface transport* juga masih berlangsung. Pori akan bergerak menuju *grain boundary* membentuk saluran pori kemudian terlokalisasi pada sudut butir dan ukurannya akan berkurang sehingga dihasilkan nilai densitas yang lebih besar. Mekanisme tersebut disebut densifikasi.

c. *Final Stage*

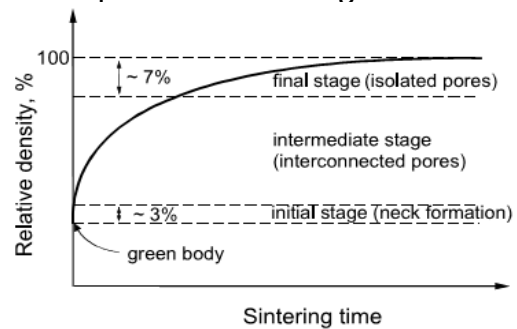
Pada tahap ini *porus* akan terisolasi dan *grain boundary* menyatu, jika proses terus dilanjutkan akan terjadi pertumbuhan butir. Terisolasinya menyebabkan tidak akan terjadi *densifikasi* lanjut. Pada *sintering* tahap akhir, bentuk pori menjadi *spherical* yang artinya telah terjadi densifikasi dengan mekanisme pengurangan susunan pori.



Gambar Diagram skematik struktur pori selama sinting (German, 1994)

6. Teori Sinting Serbuk

Kang, Suk-joong L. (2005) Mengatakan *sintering* dalam keadaan padat dibagi menjadi 3 tahap yaitu awalan (*initial*), menengah (*intermediate*), dan akhir (*finish*). Gambar 2.9 menggambarkan tentang skema tipe garis lengkung densifikasi tahapan sinting terhadap waktu *sintering*.



Gambar 2.9 Skema garis lengkung densifikasi dari serbuk padat dan ketiga tahapan *sintering* (Kang, Suk-joong L. 2005).

Kang, Suk-joong L. (2005) Tahap awal dapat diketahui melalui karakteristiknya yaitu dengan adanya pembentukan leher antara partikel-partikel dan pengaruhnya terhadap penyusutan padat terbatas yaitu antara 2-3%. Pada tahapan lanjutan atau menengah densifikasinya sangat besar yaitu diatas 93% dari hubungan kepadatan yang muncul sebelum adanya ikatan terhadap pori-pori. Untuk tahap akhir *sintering* meliputi densifikasi dari bagian pori-pori yang diisolasi untuk menuju densifikasi akhir. Untuk setiap tahapan, digunakan permodelan

yang sederhana yaitu model dua partikel untuk tahap awal, Model saluran pori-pori untuk tahap menengah, dan model pengasingan/ikatan pori-pori untuk tahap akhir.

Pada percobaan ini penyusutan (*shrinkage*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut (ASTM D 6289):

$$S = \left\{ \frac{(L_o - L)}{L_o} \right\} \times 100\%$$

Keterangan :

- S = Besarnya penyusutan (%)
 L_o = Dimensi *Mould* (mm)
 L = Dimensi produk (mm)

E. Bahan dan Alat penelitian

a. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah polimer.



Gambar Biji plastik *Polyethylene (LDPE)*

b. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen bola plastik berongga adalah:

- Mesin *rotational molding*
- Cetakan (*mold*)
- *Thermo control infrared*
- *Heater* (pemanas)
- Motor listrik
- Reduser
- Digital *tacometer*
- Stop watch
- Timbangan digital
- Thermometer
- Peralatan (kunci-kunci)
- Ember
- Gergaji

c. Alat Uji Ketebalan

Dalam pengujian ketebalan, peneliti menggunakan alat kaliper digital, bertujuan untuk mengetahui

perbedaan tingkat ketebalan dinding spesimen produk bola plastik setelah dibelah menjadi dua bagian dan dilakukan sembilan titik pengukuran dengan jarak kelipatan 0,75mm.

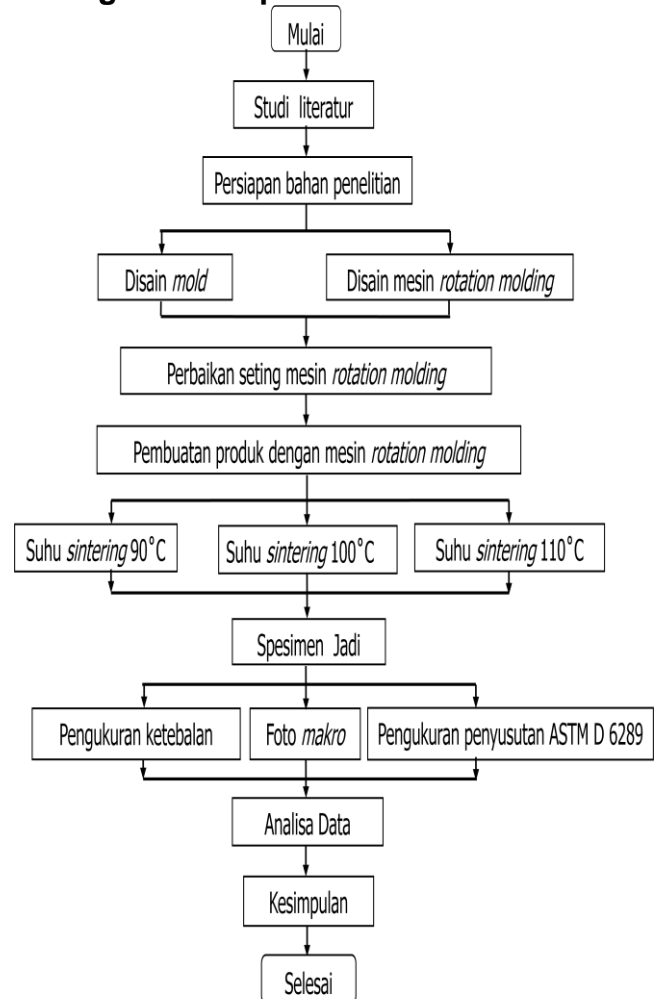
d. Uji Diameter Penyusutan

Dalam pengujian diameter penyusutan peneliti menggunakan alat kaliper digital, bertujuan untuk mengetahui tingkat perbedaan diameter penyusutan produk spesimen bola plastik dalam keadaan utuh bola.



Gambar Kaliper digital

F. Diagram alir proses



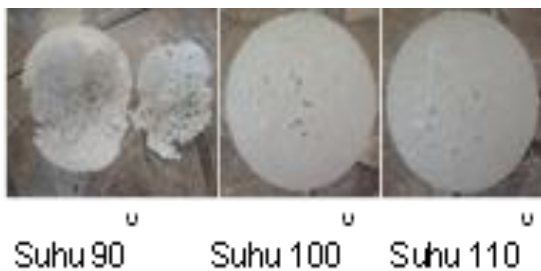
1. Penguraian diagram alir penelitian

Pada tahap penelitian awal yaitu mencari acuan sebagai sumber dan dasar dalam melakukan penelitian. Pada tahapan selanjutnya melakukan persiapan bahan dan alat yang akan dipergunakan dalam proses penelitian. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini plastik jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*). Kemudian mendisain sebuah *mould* dan mesin *rotational moulding*. Karena penelitian yang dilakukan meneruskan penelitian yang sebelumnya maka menyetel dan mengeset ulang mesin *rotational moulding* yang sudah ada. Setelah melakukan tahapan persiapan, selanjutnya melakukan proses eksperimen pembuatan spesimen bola plastik berongga dengan dicetak dengan menggunakan variasi suhu *sintering* 90°C, 100°C, 110°C selama waktu 35 menit sesuai dengan diameter yang ditentukan.

Setelah spesimen bola plastik berongga selesai di cetak, tahapan selanjutnya dilakukan analisa cacat produk yang meliputi: penyusutan produk, ketebalan produk, foto makro. Dari analisa yang dilakukan didapat data dan dilakukan pembahasan yang kemudian diambil kesimpulan dari hasil pengujian yang dilakukan.

2. Spesimen

Penelitian ini akan menguji tiga jenis spesimen bola plastik berongga.



Gambar 6 spesimen bola plastik berongga

G. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisa data pengukuran ketebalan bola plastik

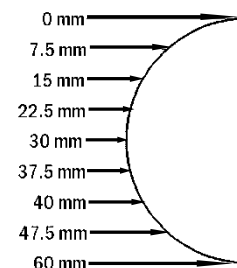


Gambar Titik pengukuran bola plastik

- Variasi suhu *sintering* proses 90°C

Pada pengukuran ketebalan bola plastik suhu *sintering* 90°C pengukuran ketebalan tidak dapat dilakukan. Dalam pemanasan suhu *melting point* biji plastik dalam cetakan *rotational moulding* terjadi ikatan *initial stage (point kontak)* pada biji plastik yang tidak merata menyebabkan biji plastik tidak menempel satu sama lain membentuk ikatan sesuai dengan cetakan (*mould*). Dikarenakan pemberian panas pada (*mould*) cetakan yang tidak sesuai dengan disain (*mould*) cetakan menyebabkan pemanasan pada bagian dinding *mould* yang tidak merata yang menyebabkan bola plastik tidak dapat terbentuk bola utuh.

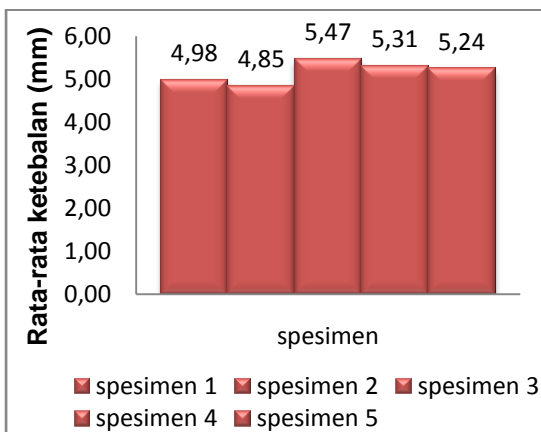
- Variasi suhu *sintering* proses 100°C



Gambar 4.3 Daerah pengukuran ketebalan spesimen bola

Tabel Data rata-rata ketebalan variasi suhu *sintering* 100°C

Produk	Rata-rata ketebalan (mm)
Bola 1	4.98
Bola 2	4.85
Bola 3	5.47
Bola 4	5.31
Bola 5	5.24
Total rata-rata	5.17



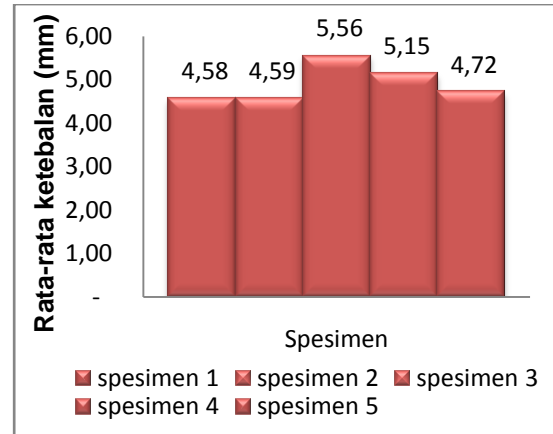
Gmanbar Histogram rata-rata ketebalan suhu *sintering* 100°C

Dari grafik rata-rata yang ditunjukkan pada gambar Menunjukkan bahwa dari 5 kali percobaan pembuatan bola plastik dengan variasi suhu *sintering* 100°C ketebalan paling tinggi 5,47 mm dan ketebalan yang paling rendah 4,85 mm.

- Variasi suhu *sintering* proses 110°C

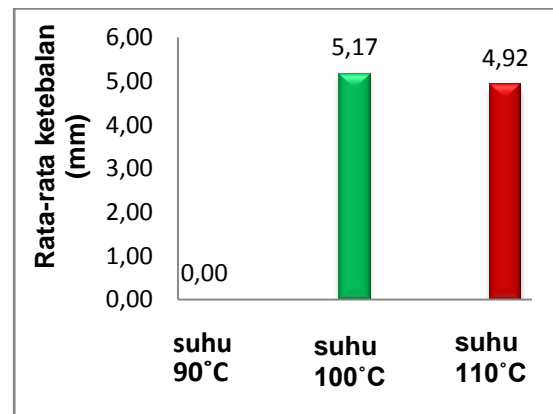
Tabel Data rata-rata ketebalan variasi suhu *sintering* 110°C

Produk	Rata-rata ketebalan (mm)
Bola 1	4.58
Bola 2	4.59
Bola 3	5.56
Bola 4	5.15
Bola 5	4.72
Total rata-rata	4.92



Gambar Histogram rata-rata ketebalan suhu *sintering* 110°C

Dari grafik rata-rata yang ditunjukkan pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa dari 5 kali percobaan pembuatan bola plastik dengan variasi suhu *sintering* 110°C ketebalan paling tinggi 5,56 mm dan ketebalan yang paling rendah 4,58 mm.



Gambar Rata-rata ketebalan bola dari 5 kali percobaan menggunakan suhu *sintering* 90°C, 100°C, 110°C.

Dari rata-rata ketebalan produk yang ditunjukkan pada grafik 5 kali percobaan, Pada ketebalan bola plastik suhu *sintering* 90°C tidak dapat dilakukan pengambilan data. Karena dalam proses pencetakan *rotational moulding* dengan menggunakan suhu *sintering* 90°C biji plastik terjadi ikatan *initial stage* (*point contact*) berkurangnya rongga

dan meningkatkan *neck* antara partikel plastik yang satu dengan yang lain tidak merata. Pada suhu *sintering* 100°C menunjukkan grafik rata-rata ketebalan 5.17 mm, Sedangkan pada suhu *sintering* 110°C grafik ketebalan rata-rata 4.92 mm lebih rendah sedikit dibanding variasi suhu *sintering* 100°C.

Dari data tabel histogram diatas dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi suhu *sintering* yang diberikan dalam proses pencetakan bola plastik ketebalan yang dihasilkan lebih merata dan setabil, disebabkan biji plastik didalam cetakan *rotational moulding* mengalami tahapan *porus* biji plastik *berdifusi* (menyatu) dan menempati bagian-bagian permukaan *mould* (cetakan). Perlu diperhatikan dalam setingan kecepatan putaran mesin *rotational moulding* dan lamanya waktu pemberian suhu *sintering* dalam cetakan untuk mendapatkan ketebalan produk yang sesuai merata dan tidak menimbulkan kerusakan pada matrial plastik produk, misalnya gosong/terbakar karena kesalahan dalam setingan waktu dan suhu *sintering* yang kurang tepat.



Variasi suhu
sintering 100°C



Variasi suhu
sintering 110°C

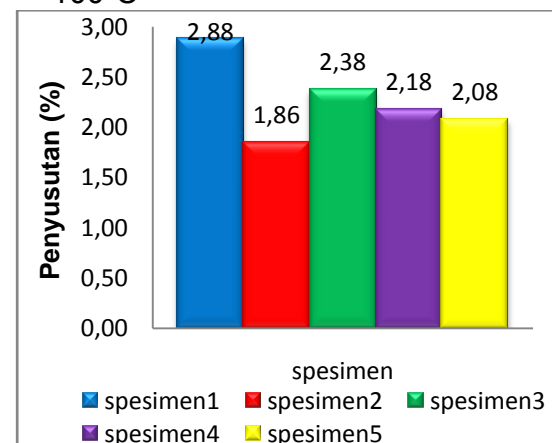
2. Analisa penyusutan (*shrinkage*) produk bola plastik.

Dari percobaan pengukuran penyusutan bola plastik diameter 60 mm dengan 4 kali pengukuran diameter bola per 1 spesimen bola. Berikut pengukuran penyusutan bola plastik dengan variasi suhu *sintering* 90°C, 100°C, dan 110°C.

- Variasi suhu *sintering* proses 90°C

Pada pengukuran penyusutan (*shrinkage*) bola plastik suhu *sintering* 90°C tidak dapat dilakukan pengambilan data. Dalam pemanasan suhu *melting point* biji plastik dalam cetakan *rotational moulding* terjadi ikatan *initial stage* (*point kontak*) pada biji plastik yang tidak merata menyebabkan biji plastik tidak menempel satu sama lain membentuk ikatan sesuai dengan cetakan (*mold*). Dikarenakan pemberian panas pada (*mold*) cetakan yang tidak sesuai dengan desain (*mold*) cetakan menyebabkan pemanasan pada bagian dinding *mould* yang tidak merata yang menyebabkan bola plastik tidak dapat terbentuk bola utuh.

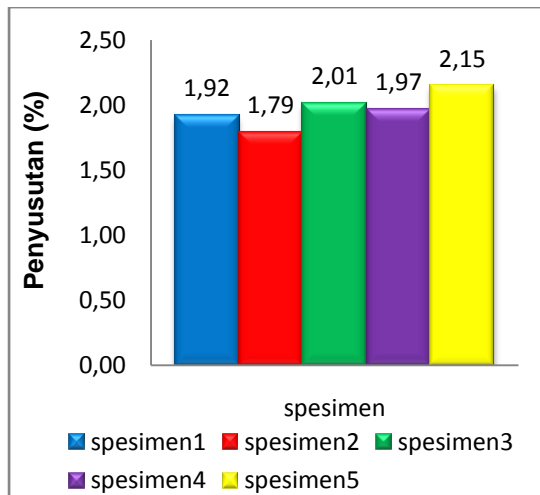
- Variasi suhu *sintering* proses 100°C



Gambar Histogram rata-rata penyusutan suhu *sintering* 100°C

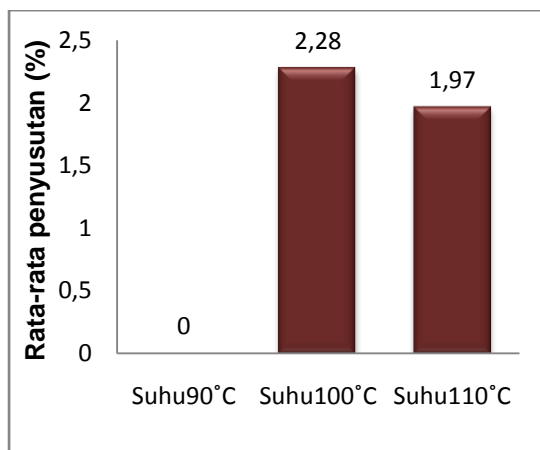
Dari hasil analisa yang ditunjukkan pada gambar menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan dari percobaan pembuatan plastik berongga dengan variasi suhu *sintering* 100°C menunjukkan tingkat penyusutan tertinggi terdapat pada 2.88% dan penyusutan terendah pada 1.86%.

- Variasi suhu *sintering* proses 110°C



Gambar Histogram rata-rata penyusutan suhu *sintering* 110°C

Dari hasil analisa grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.14 menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan dari percobaan pembuatan plastik berongga dengan variasi suhu *sintering* 110°C menunjukkan tingkat penyusutan tertinggi terdapat pada 2.15% dan penyusutan terendah pada 1.79%.



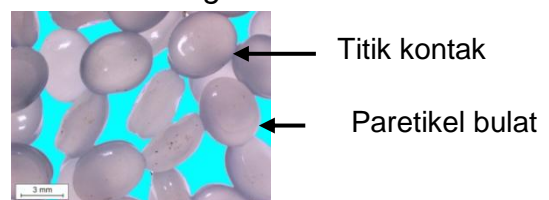
Gambar Histogram rata-rata penyusutan variasi suhu *sintering* 90°C 100°C, 110°C

Dari peninjauan grafik rata-rata penyusutan (*shrinkage*) yang ditunjukkan pada gambar menunjukkan bahwa dari 5 kali percobaan dengan memvariasikan suhu *sintering* 90°C, 100°C, dan 110°C bahwa untuk produk suhu

sintering 90°C tidak dapat dilakukan pengambilan data ketebalan produk, karena produk dengan suhu *sintering* 90°C biji plastik tidak dapat menempel dengan baik mudah terpisah, untuk produk suhu *sintering* 100°C mengalami rata-rata penyusutan 2.28%, dan untuk produk 110°C mengalami rata-rata penyusutan 1,97%. Dari uraian diatas menunjukkan bahwa suhu *sintering* 110°C lebih baik dalam mengendalikan penyusutan dibandingkan dengan hasil produk suhu *sintering* 100°C. Hal ini disebabkan pemberian suhu *sintering* yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama untuk mencetak spesimen bola, molekul-molekul biji plastik akan tersusun rapat dan akan terjadi perubahan densitas. Hal ini juga bisa dipengaruhi setting suhu dan disain cetakan yang tidak sesuai dan proses pendinginan yang kurang tepat pada cetakan bola plastik, terbukti penyusutan pada spesimen bola dapat dikendalikan.

3. Hasil Struktur Foto Makro

- Suhu *sintering* 90°C

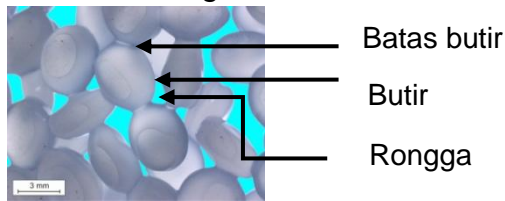


Gambar Foto makro proses suhu *sintering* 90°C

Hasil foto makro proses suhu *sintering* 90°C dengan lama waktu 35 menit dengan pembesaran 8 kali dapat dilihat pada gambar Tahapan *Initial Point Contact* (titik kontak awal), Pada tahap ini dimana akan terjadi peningkatan area kontak antar partikel membentuk ikatan antara partikel yang diakibatkan dari pemanasan suhu. Seperti

ditunjukkan pada gambar terjadi titik leleh kontak awal biji plastik.

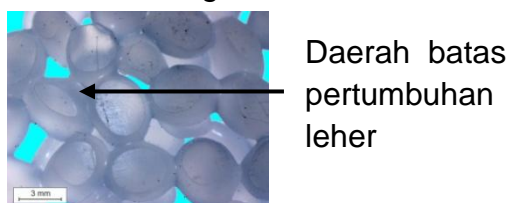
- Suhu *sintering* 100°C



Gambar Foto makro proses suhu *sintering* 100°C

Hasil foto makro proses suhu *sintering* 100°C dengan lama waktu 35 menit dengan pembesaran 8 kali dapat dilihat pada gambar. *Intermediad Stage* (tahap peralihan), dengan pertumbuhan butir dan pertumbuhan pori dimana terjadi ikatan antar sudut batas butir menjadi lebih *smooth* (halus), porositas berkurang atau menurun, batas butir mulai bertumbuh membentuk ikatan yang saling berhubungan (*continue chaanel*). Pada tahapan ini terjadi mekanisme aliran massa berupa *bulk* transport yang berperan terhadap terjadinya *shrinkage*.

- Suhu *sintering* 110°C



Gambar 4.18 Foto makro proses suhu *sintering* 110°C

Hasil foto makro proses suhu *sintering* 110°C dengan lama waktu 35 menit dengan pembesaran 8 kali dapat dilihat pada gambar *Final stage* (tahap akhir), pada tahapan ini *porus* akan terisolasi dan *grain boundary* (batas butir) menyatu, jika proses dilanjutkan akan terjadi pertumbuhan butir dan partikel biji plastik akan sepenuhnya menyatu.

H. KESIMPULAN

Data hasil eksperimen tentang analisa bola plastik terhadap ketebalan, penyusutan dan kekuatan tarik sepesimen dalam proses *rotation molding* maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pencetakan bola plastik dengan variasi suhu *sintering* 90°C, 100°C dan 110°C proses *rotation molding*, sangat berpengaruh terhadap ketebalan dinding produk. Pada suhu *sintering* 90°C tidak dapat dilakukan analisa ketebalan produk karena biji plastik tidak dapat merekat satu sama lain secara merata. Pada suhu *sintering* 100°C ketebalan rata-rata 5,17 mm dan suhu *sintering* 110°C ketebalan rata-rata 4,92 mm. Maka dapat disimpulkan bahwa pada suhu *sintering* 110°C, lebih efektif dalam mengendalikan ketebalan produk. Hal ini dikarenakan kecepatan putar dan pemberian suhu *sintering* 110°C yang sudah sesuai, sehingga serbuk biji plastik menempel rata pada dinding *mould* (cetakan) mengisi rongga-rongga kosong pada produk bola plastik sehingga meminimalisir terjadinya penumpukan material biji plastik pada satu dinding cetakan (*mold*).
2. Hasil dari analisa penyusutan produk bola plastik pada suhu *sintering* 90°C tidak dapat dilakukan analisa pengukuran penyusutan produk karena biji plastik tidak dapat merekat satu sama lain secara merata (tidak dapat terbentuk spesimen bola). Pada suhu *sintering* 100°C rata-rata penyusutan 2,28 %, sedangkan pada suhu *sintering* 110°C rata-rata penyusutan 1,97 %. Pada suhu *sintering* 110°C

lebih baik dalam mengendalikan harga penyusutan produk terbukti harga rata-rata penyusutan bola variasi suhu *sintering* 110°C dari 5 kali percobaan 1,97 %. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pemberian suhu *sintering* yang sesuai diberikan pada *mould* dapat meminimalisir harga penyusutan produk bola plastik.

I. SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penulisan menyarankan bahwa:

1. Penulis berharap perlu adanya pembuatan mesin *rotational moulding* yang presisi agar kinerja mesin *rotation molding* lebih maksimal.
2. Penggunaan *speed ratio* dan suhu *sintering* ditinggikan untuk mencari tingkat pemerataan biji plastik yang menempel pada dinding cetakan *mould* yang lebih merata dan meminimalisir rongga pada dinding spesimen bola plastik.
3. Keselamatan dan prosedur keamanan perlu diperhatikan untuk menghindari terjadinya resiko kecelakaan kerja pada waktu penelitian.
4. Penulis berharap penelitian ini dikembangkan kearah pembuatan *Mould* dengan bahan non logam seperti *fiberglass* atau kayu dan produk dengan bentuk-bentuk lain selain bentuk bola.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM D792,"**Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relativ Density) of Plastic by Displacement**". ASTM International, United States.

Anggono, D, A, 2005, **PREDIKSI SHRINKAGE UNTUK MENGHINDARI CACAT PRODUK PADA PLASTIC INJECTION**, Universitas Muhamadiyah Surakarta.

Adrianto T, 2011, **Pengaruh Variasi Waktu Terhadap Cacat Dan Ketebalan Produk Plastik Pada Proses Rotational Molding**, Universitas Muhamadiyah Surakarta.

Crawford, R J, dkk 2003, **Rotational Molding Technology**, INSB 1884207855-439S, Wiliam Andrew, 2003.

Crawford, R J, dkk, **Pratical Guide to Rotational Molding**, Queen's University, Belfast, Diakses dari [http://en.wikipedia.org/wiki/file:Rotational Molding Proses](http://en.wikipedia.org/wiki/file:Rotational_Molding_Proses).

Fahrurrozi, M., 2001, "**Pengaruhn Kecepatan Pendinginan Terhadap Perubahan Peleburan Polymer Crystalline dan Non Cristalline**", Laporan Penelitian DPP Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

Febriantoko B. W, 2008, "**Studi Peningkatan Siklus Injeksi dan Pengurangan Prosentase Penyusutan Pada Produk Injeksi Plastik Dengan Tipe Lमित Steel**". Prosiding Seminar Nasional Nasional Teknoin Bidang Teknik Mesin Universitas Muhamadiyah Surakarta.

German. R. M, 1984, "**Powder Metalurgi Science**", Metal Powder Federation, Pricenton, New York.

Mujiarto, I , 2005, **Sifat Dan Karakteristik Matrial Plastik Bahan Aditif**. Staff pengajar AMINI semarang.

Nugent, Paul, 2011, **Rotational Molding: Practikal Guide**, Reading, **Pennsylvavina**, Handbook *Rotational Molding*.

Kang, Suk-joong L. 2005, "**Sintering Densifikasi, Graid Growth & Mikrostruktur**", Burlington, MA, USA.

Setioko, Wahyu, 2010, Arti Logo pada Kemasan Plastik
<http://wahyusetioko.wordpress.com/tag/ldpe>.

Sugondo, Amalia, 2008, **KAJIAN PENGETAHUAN KETEBALAN PADA KUWALITAS DAN MAMPU BENTUK DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI PADA PROSES INJECTION MOLDING**, Universitas Kristen Petra.

Schay,A J, **Proses Manufaktur**, 2009 Departemen of Mechanical Engineering University of Waterloo, Ontario, Penerbit ANDI Yogyakarta.

Oktaviandi, S. D, 2012, “**Analisa Pengaruh Parameter Tekanan Dan waktu Penekanan Terhadap sifat mekanik dan Cacat Penyusutan dari Produk Injection Molding Berbahan Polyethylene (PE)**”, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa cilegon.